



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Effektivisering af forbelastning ved anvendelse af vertikaldræn

Jensen, B. S.; Sørensen, Carsten S.

Published in:
Proceedings fra NGM-2000 : XIII Nordiska Geoteknikermötet

Publication date:
2000

Document Version
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Jensen, B. S., & Sørensen, C. S. (2000). Effektivisering af forbelastning ved anvendelse af vertikaldræn. I Rathmayer, H. (Ed.) (red.), *Proceedings fra NGM-2000 : XIII Nordiska Geoteknikermötet: Helsinki, Finland, 5-7 June 2000* (s. 329-334). Building Information Ltd..

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Effektivisering af forbelastning ved anvendelse af vertikaldræn

Betty Stenstrup Jensen

COWI, Rådgivende Ingeniører A/S, Århus

Carsten S. Sørensen

COWI, Rådgivende Ingeniører A/S, Aalborg

GEOTEKNIKGRUPPEN, Aalborg Universitet, Danmark

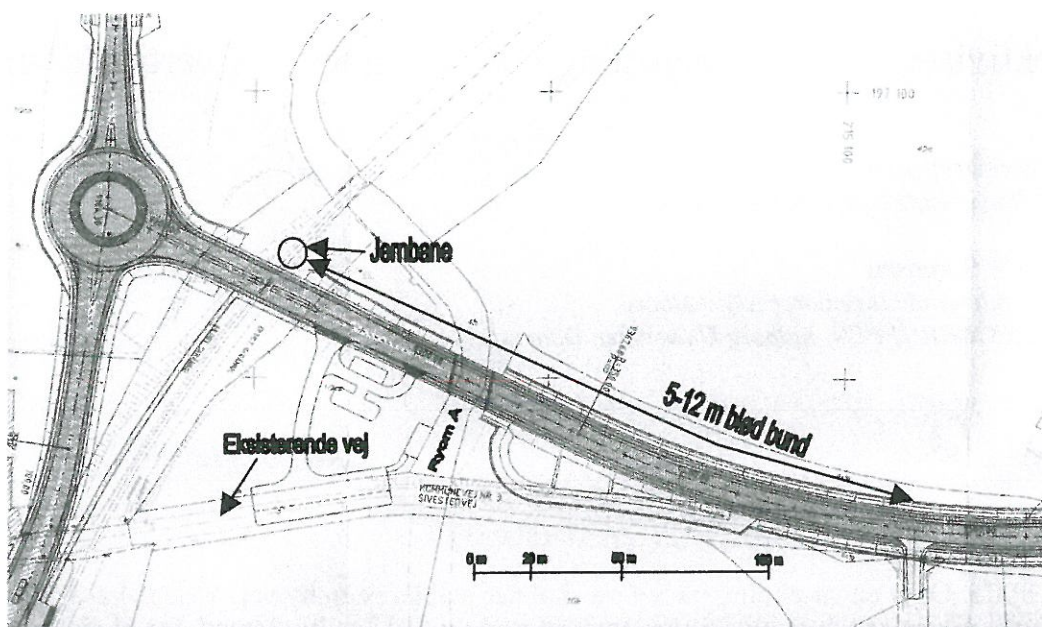
SYNOPSIS: Over en strækning på 500 m skal der etableres en ny vej. Vejen skal krydse en jernbane i niveau, en å, et blødbunds område med op til 12 m blød bund, for til sidst at blive sluttet på den eksisterende vej. For at sikre, at der ikke udvikles uacceptable differenssætninger mellem de enkelte delelementer af vejen, udføres vejen ved forbelastning. Sætninger fra traditionel konsolidering af forbelastningen vil tage 30 år. Da denne periode skal reduceres til 20 måneder, vælges at etablere vertikal dræn gennem forbelastningsdæmningen. Herved reduceres drænvejen fra 6,0 m til 0,5 m og drænretningen ændres fra at være overvejende lodret ved en traditionel konsolidering til at være overvejende vandret. Dette bevirker, at dræntiden reduceres væsentligt, idet casen viser, at forholdet mellem permeabiliteten i vandret retning, k_x og i lodret retning, k_y er 30 for den aktuelle gytje.

1 INDLEDNING

I forbindelse med etablering af en forlægning af landevej 534, Kalø-Kolind på Djursland (figur 1) skal en strækning på ca. 500 m af vejen krydse en eksisterende jernbane i niveau, krydse Ryom Å og et større blødbundsområde for til sidst at blive sluttet på en eksisterende forbelastet landevej.



Figur 1. Forlægning af landevej 534, Kalø-Kolind på Djursland

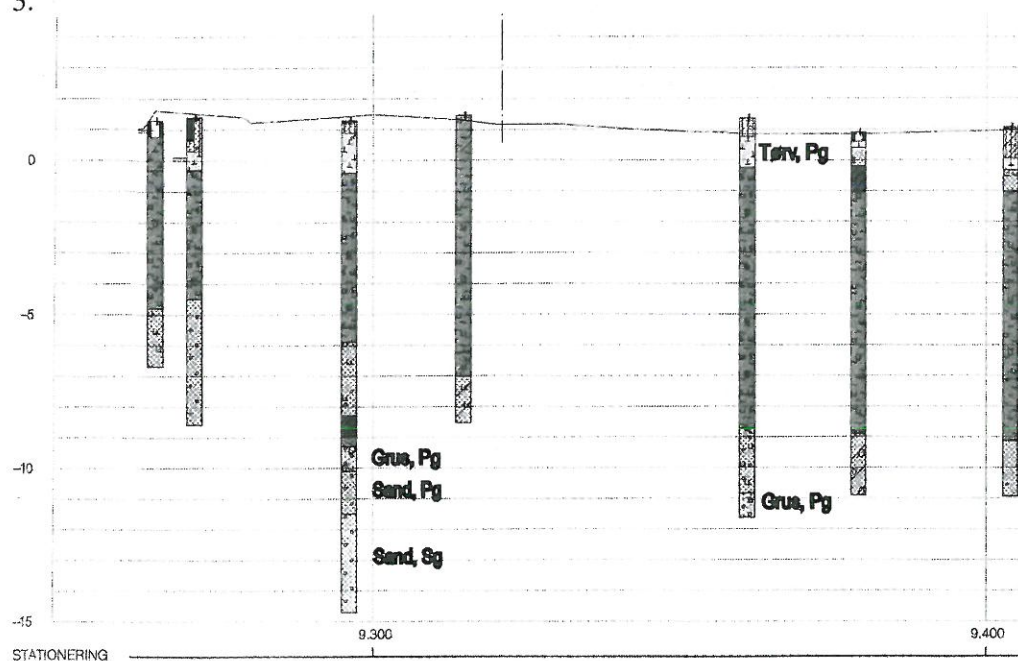


Figur 2. Situationsplan for delstrækning på 500 m.

Ved etableringen af vejen skal det eksisterende terræn hæves 0,5 á 2,4 m. Vejmyndigheden Århus Amt ønsker vejen anlagt, således at de fremtidige differenssætninger i vejen bliver acceptable, og at vejen kan etableres indenfor en periode på 20 måneder.

2 GEOTEKNISKE FORHOLD

Geotekniske borer for vejen viser, at jordbundsforholdene i området øverst består af recent muld og sandfyld, herunder postglacialt gytje med en lagtykkelse varierende mellem 4 og 12 m. Under den postglaciale gytje er der postglacialt sand. Et udsnit af længdeprofil for området er vist i figur 3.



Figur 3. Udsnit af længdeprofil for området

Styrke- og deformationsparametrene for gytjen blev fastlagt på grundlag af vingeforsøg udført i borerne, samt konsoliderings- og triaksialforsøg udført på intakte jordprøver udtaget i de geotekniske borer.

Tabel 1. Rumvægte og styrkeparametre for gytjen

	γ/γ' [kN/m ³]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	c'_k [kN/m ²]	$\phi'_{tr,k}$ [grader]
Gytje, Pg ($\sigma'_1 < \sigma'_{pc}$)	13/3	12	0	33
Gytje, Pg ($\sigma'_1 > \sigma'_{pc}$)	13/3	$0,48\sigma'_1$	3	33

Tabel 2. Deformationsparametre for gytjen

	w [%]	Q [%]	Q _s [%]	K [MN/m ²]	k _x [m/sek]	c _k [m ² /sek]
Gytje, Pg ($\sigma'_1 < \sigma'_{pc}$)	130 – 180	-	2,8	0,5	1×10^{-9}	$2,4 \times 10^{-8}$
Gytje, Pg ($\sigma'_1 > \sigma'_{pc}$)	130 - 180	26	2,8	-	1×10^{-9}	$2,4 \times 10^{-8}$

3 LØSNINGSMETODER

Etableringen af vejforlægningen over blødbundsområdet kan ske på følgende måder:

- Total udskiftning
- Delvis udskiftning med letklinker
- Pælefundering/pæledæk
- Forbelastning

For det aktuelle projekt blev det valgt at anvende forbelastning, idet denne løsning vurderes at være den billigste løsningen, når der som i dette tilfælde er tilstrækkeligt tid til rådighed (20 mdr.).

Princippet ved forbelastning er at fremskynde de sætninger, som den fremtidige vejkonstruktion vil resultere i. Sætningerne fremskyndes ved at påføre den bløde bund en belastning, som er væsentligt større end den endelige belastning.

Når de ønskede sætninger er nået, fjernes forbelastningen og de fremtidige sætninger vil derefter overvejende være reduceret til bidraget fra krybninger alene.

4 SÆTNINGER

Nedenstående er anvendt ved beregning af konsoliderings- og krybningssætningerne:

$$\delta_{\text{total}} = \delta_{\text{kons}} + \delta_{\text{kryb}} \quad (1)$$

Konsolideringssætningen, δ_{kons} er spændingsafhængig og beregnes ved:

For $\sigma'_f < \sigma'_{pc}$ og $\sigma'_f + \Delta\sigma'_1 > \sigma'_{pc}$:

$$\delta_{\text{kons}} = \varepsilon \cdot H = \frac{\sigma'_{pc} - \sigma'_f}{K} \cdot H + Q \cdot \log \left(\frac{(\sigma'_f + \Delta\sigma'_1)}{\sigma'_{pc}} \right) \cdot H \quad (2)$$

og for $\sigma'_f = \sigma'_{pc}$:

$$\delta_{\text{kons}} = \varepsilon \cdot H = Q \cdot \log ((\sigma'_f + \Delta\sigma'_1) / \sigma'_f) \cdot H \quad (3)$$

ε konsolideringstøjningen
 H lagtykkelsen
 Q dekadehældningen
 $\Delta\sigma'_1$ spændingstilvæksten
 σ'_f spændingen før belastningen
 σ'_{pc} forbelastningsspændingen
 K konsolideringsmodulet for genbelastningen

Krybningssætningen, δ_{kryb} , er tidsafhængig og beregnes ved:

$$\delta_{\text{kryb}} = \varepsilon_{\text{cr}} \cdot H = Q_s \cdot \log (1 + (t/t_{sc})) \cdot H \quad (4)$$

ε_{cr} krybningstøjningen
 H lagtykkelsen
 Q_s krybningsdekadehældningen
 t tiden, hvor spændingen er konstant
 t_{sc} tiden for oplastning til den nye spænding

Sætningsberegninger for hævnningen af terrænet 0,5 á 2,4 m for en konsolideringsgrad på 95% resulterede i konsolideringssætninger på 0,1 – 0,8 m.

Krybningssætningerne for de første 10 år af vejens levetid blev beregnet til 0,2 – 0,9 m, svarende til en totalsætning på 0,3 – 1,7 m.

Tidsforløbet for konsolideringssætningerne beregnes på grundlag af tidsfaktoren T :

$$T = ((k \cdot K) / \gamma_w \cdot H^2) \cdot t = (c_k / H^2) \cdot t \quad (5)$$

k permeabiliteten
 K konsolideringsmodulet
 γ_w vands rumvægt
 H drænvejens længde
 t konsolideringstiden
 c_k konsolideringskoefficienten

Af formel (5) fremgår det, at konsolideringstiden er ligefrem proportional med drænvejen i 2. potens. En halvering af drænvejen vil således reducere sætningstiden til en fjerdedel.

Ved at etablere vertikal dræn ned gennem forbelastningen reduceres drænvejen. Den nødvendige afstand mellem vertikal drænene kan fastlægges ud fra den tidsperiode, der er til rådighed for forbelastningen.

Afstanden mellem vertikal drænene beregnes ud fra formel (6) og (7):

$$U = 1 - (1/e^k \cdot c_k) \quad (6)$$

U konsolideringsgrad
 e eksponentialfunktion
 k beregnes af formel (7)
 c_k konsolideringskoefficient

$$k = \frac{8 \cdot t}{D^2 \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} \ln \frac{D}{d} - \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

t konsolideringstiden
d diameter af vertikal dræn
D diameter af jordlegeme, der drænes af vertikal drænet

For det aktuelle projekt er konsolideringstiden for et traditionelt sætningsforløb beregnet til 30 år. Dette sætningsforløb er reduceret til 20 måneder ved at etablere vertikal dræn med en indbyrdes afstand på 1,0 á 1,1 m.

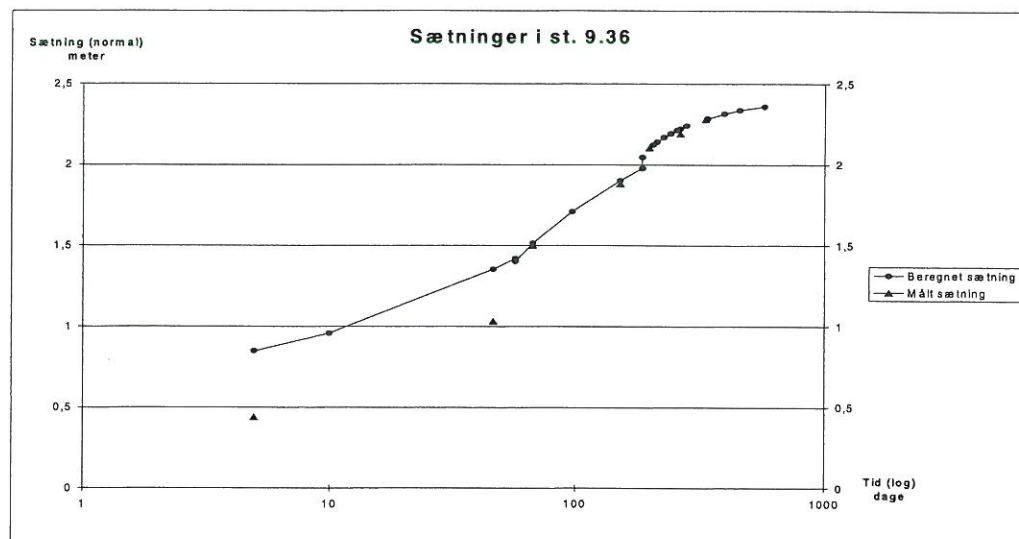
Vertikal drænene har naturligvis den største effekt ved tykke aflejringer af blød bund. Ved mindre lagtykkelser, hvor drænvejen i forvejen er lille, vil gevinsten ved vertikal dræn være noget mindre.

5 KONTROLMÅLINGER

For at kunne følge og kontrollere sætningsforløbet for forbelastningen er der under forbelastningsdæmningen installeret måleslanger på tværs af dæmningen til hydraulisk måling af sætningerne. Sætningsmålingerne foregår ved anvendelse af en elektrisk tryksonde, som trækkes gennem måleslangen med en wire. Sætningerne kan dermed registreres som relative niveauforskelle i måleslangerne, som kan omsættes til sætninger i den bløde bund.

Da der ofte kun er en begrænset tidsperiode til rådighed for forbelastningen, er det nødvendigt at kunne fremskrive sætningerne, således at der kan handles i tide, hvis det viser sig nødvendigt med en yderligere belastning for at nå den ønskede sætning indenfor den afsatte tid.

Til det formål er edb-programmet PLAXIS anvendt. På grundlag af deformationsparametrene for jorden er der i PLAXIS opstillet beregninger for sætningerne. Ved at kalibrere disse beregninger med resultaterne fra slangemålingerne er sætningerne fremskrevet meget præcist. I nedenstående figur er de beregnede sætninger vist i forhold til de målte sætninger.



Figur 4. Målte og beregnede sætninger

Derudover kan der installeres piezometre ned gennem de bløde aflejringer til registrering af poreovertrykket. På grundlag af målingerne af poreovertrykket kan konsolideringsgraden til det konkrete tidspunkt beregnes, og dermed kan den resterende konsolideringstid fastlægges.

6 AFSLUTNING

Kalibreringen af de teoretiske beregnede sætninger med de målte sætninger viser, at vertikal drænene ikke kun reducerer dræntiden på grund af den reducerede drænvej, men også fordi drænretningen ændres. Ved at etablere vertikal drænene reduceres drænvejen i den aktuelle sag fra 6 m til 0,5 m. Derved ændres samtidig drænretningen fra at være lodret ved en traditionel konsolidering til at være vandret. Da dræntiden er ligefrem proportional med permeabiliteten og permeabiliteten i vandret retning, k_x er væsentlig større end i lodret retning, k_y , resulterer det i en kortere drænperiode og dermed en kortere sætningstid. For den aktuelle sag kunne permeabilitetsforholdet k_x/k_y beregnes til 30.

7 BYGHERRE

Bygherren på projektet er Århus Amt, Veje og Trafik, som forfatterne hermed gerne vil benytte lejligheden til at takke for godt samarbejde.

8 REFERENCER

Kremer R.H.J. & Visser G.T. 1980. Bulletin 80/1. *The construction of a tramline utilizing a light fill material, vertical mebra drains and a filter fabric*. Soil Mechanics Department, Public.

Geotechnics Holland BV. 1980. Bulletin 80/2. *Designing with the mebra-Drain system*.